



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

- (21), (22) Заявка: 2003111212/03, 18.04.2003
(24) Дата начала действия патента: 18.04.2003
(30) Приоритет: 19.04.2002 US 10/126,338
(43) Дата публикации заявки: 20.11.2004
(45) Опубликовано: 20.07.2005 Бюл. № 20
(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: SU 703654 A, 15.12.1979. RU 2015313 C1, 30.06.1994. RU 2018642 C1, 30.08.1994. RU 2133716 C1, 10.03.1995. RU 2166079 C1, 27.04.2001. US 5188175 A, 23.02.1993. US 6330916 A, 18.12.2001.

Адрес для переписки:

129010, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры", пат.пов. Г.Б. Егоровой

(72) Автор(ы):

БОНИ Кертис Л. (US),
МИЛЛЕР Метью Дж. (RU),
ЛО Шо-Вей (US)

(73) Патентообладатель(ли):

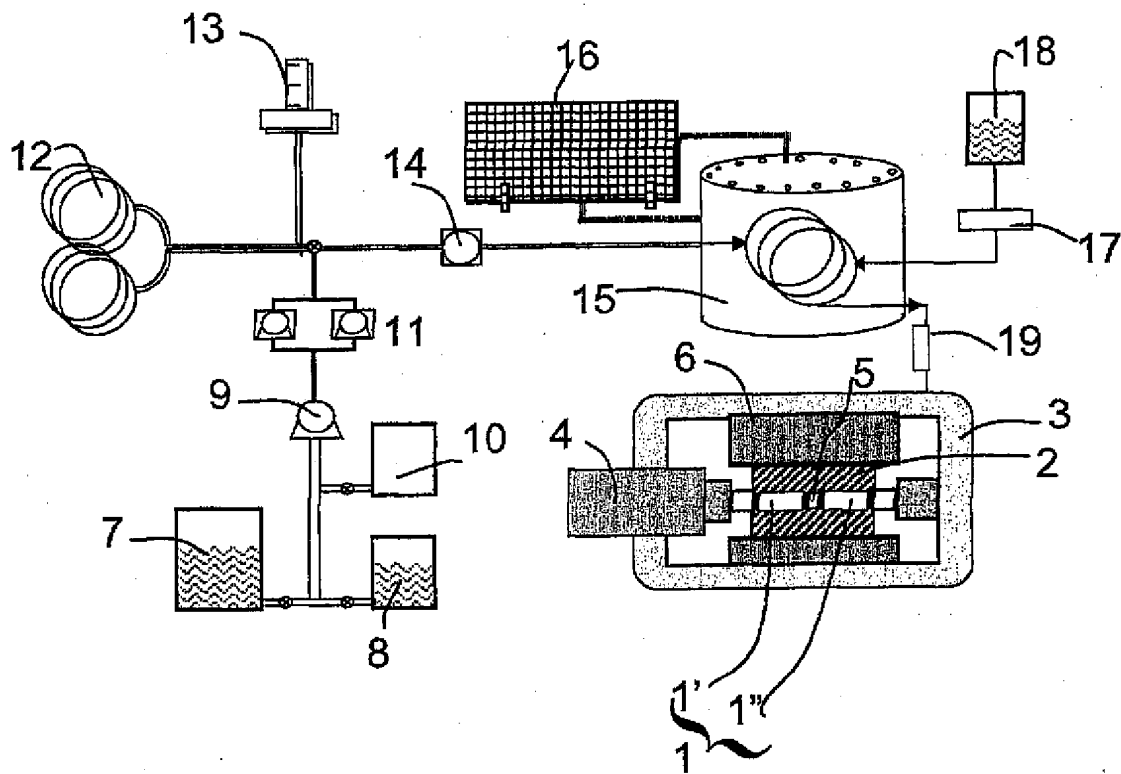
ШЛЮМБЕРГЕР ТЕКНОЛОДЖИ БВ (NL)

(54) СПОСОБ РАСКЛИНИВАНИЯ ТРЕЩИНЫ В ПОДЗЕМНОМ ПЛАСТЕ (ВАРИАНТЫ) И СПОСОБ ГИДРОРАЗРЫВА В ПОДЗЕМНОМ ПЛАСТЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области гидравлического разрыва в подземном пласте, более конкретно, к способу и средству для оптимизации проводимости трещины. Обеспечивает увеличение проводимости расклинивающего наполнителя и производительности скважины. Сущность

изобретения: расклинивают часть всей трещины в подземном пласте с помощью расклинивающего наполнителя, содержащего, по существу, материал в виде удлиненных частиц, имеющих форму с соотношением длины к ширине, превышающим 5, предпочтительно сегмент металлической проволоки. 3 н. и 25 з.п. ф-лы, 8 табл., 4 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2003111212/03, 18.04.2003

(24) Effective date for property rights: 18.04.2003

(30) Priority: 19.04.2002 US 10/126,338

(43) Application published: 20.11.2004

(45) Date of publication: 20.07.2005 Bull. 20

Mail address:

129010, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i
Partnery", pat.pov. G.B. Egorovoj

(72) Inventor(s):

BONI Kertis L. (US),
MILLER M.D. (RU),
LO Sho-Vej (US)

(73) Proprietor(s):

ShLJuMBERGER TEKNOLODZHI BV (NL)

(54) METHOD FOR WEDGING CRACK IN SUBTERRANEAN BED (VARIANTS) AND METHOD FOR HYDRAULIC FRACTURING IN SUBTERRANEAN BED

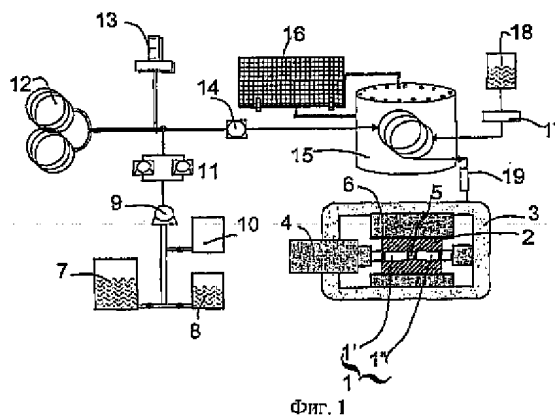
(57) Abstract:

FIELD: mining industry.

SUBSTANCE: method includes wedging of whole crack in bed by wedging filler, containing material in form of elongated particles, having shape with relation of length to width, exceeding 5, preferably segment of metallic wire.

EFFECT: higher efficiency, broader functional capabilities.

3 cl, 8 ex, 8 tbl, 4 dwg



RU 2 256 786 C2

RU 2 256 786 C2

Настоящее изобретение в основном относится к области гидравлического разрыва в подземных пластах и, в частности, к способу и средству для оптимизации проводимости трещины.

5 Гидравлический разрыв является основным инструментом для повышения производительности скважины путем размещения или расширения каналов от ствола скважины в продуктивный пласт. Эта операция по существу выполняется путем гидравлического введения разрывающей жидкости в ствол скважины, пересекающей подземное месторождение, и воздействия разрывающей жидкости на толщу пластов давлением. Пластовое отложение пород или горная порода принуждается к
10 растрескиванию и разрыву. Расклинивающий наполнитель размещается в трещине для предотвращения ее смыкания и, тем самым, для обеспечения улучшенной добычи извлекаемой текучей среды, то есть нефти, газа или воды.

Таким образом, расклинивающий наполнитель используется для удержания стенок трещины на расстоянии друг от друга, для создания проводящего канала в стволе
15 скважины, после того как накачивание прекратится. Таким образом, размещение соответствующего расклинивающего наполнителя, с соответствующей концентрацией для формирования соответствующей закладки расклинивающего наполнителя является важным для достижения гидравлического разрыва.

Песок, покрытый смолой песок, и керамические частицы наиболее часто используются
20 как расклинивающие наполнители, хотя в литературе, например в патенте США №4654266, также упоминается использование осколков скорлупы грецкого ореха (скорлупа грецкого ореха – нейтральный наполнитель для борьбы с поглощением бурового раствора), покрытых некоторыми связующими присадками, металлической дробью или шариков с металлическим покрытием, почти сферических, но со сквозными каналами для улучшения
25 их проводимости.

На проводимость расклинивающего наполнителя влияют главным образом два параметра: ширина закладки расклинивающего наполнителя и проницаемость закладки расклинивающего наполнителя. Типичные методы улучшения проводимости разрушающего расклинивающего наполнителя включают использование расклинивающего
30 наполнителя с очень большим диаметром. Вообще, наиболее распространенные методы увеличения разрывного действия расклинивающего наполнителя включают использование высокопрочных расклинивающих наполнителей, расклинивающих наполнителей большого диаметра, высоких концентраций расклинивающего наполнителя в закладке расклинивающего наполнителя для обеспечения более широкого расклинивания трещин,
35 материалов, повышающих проводимость, таких как измельчители, добавки, способствующие противотоку, волокон и других материалов, которые физически изменяют закладку расклинивающего наполнителя, а также использование жидкостей, не приводящих к разрушению разрыва, таких как загущенная нефть, вязкоупругие поверхностно-активные жидкости, вспененные жидкости или эмульгированные жидкости. Также известно, что
40 размер частиц, гранулометрический состав, количество мелких фракций и примесей, округлость и шарообразность и плотность расклинивающего наполнителя оказывают влияние на проводимость разрыва.

Как указано выше, основная функция расклинивающего наполнителя состоит в поддержании трещины открытой за счет преодоления напряжения в естественном
45 залегании. Поскольку прочность расклинивающего наполнителя недостаточно высока, то напряжение закрытия дробит расклинивающий наполнитель, создавая мелкие частицы и уменьшая проводимость. Песок обычно пригоден для напряжений закрытия меньше, чем приблизительно 6000 фунт/дюйм² (41 МПа); песок, покрытый смолой, может быть использован вплоть до приблизительно 8000 фунт/дюйм (55 МПа). Расклинивающий
50 наполнитель средней прочности обычно состоит из плавленой керамики или спеченного боксита и используется для напряжений закрытия в пределах между 5000 фунт/дюйм и 10000 фунт/дюйм (от 34 МПа до 69 МПа). Расклинивающий наполнитель высокой прочности, состоящий из спеченного боксита с большим количеством корунда,

используется при напряжениях закрытия вплоть до приблизительно 14000 фунт/дюйм (96 МПа).

5 Проницаемость расклиненной трещины увеличивается пропорционально квадрату диаметра частицы. Однако крупные частицы зачастую более восприимчивы к дроблению, имеют в большей степени проблемы размещения, и в них более легко проникают мелкие частицы. В результате этого среднее значение проводимости на протяжении периода эксплуатации скважины, в действительности может быть более высоким с использованием меньших расклинивающих наполнителей.

10 Для ограничения обратного движения материалов в виде частиц расклинивающего наполнителя, помещенного в пласт, как раскрыто в патенте США №5330005, добавляют волокнистый материал, смешанный с материалом расклинивающего наполнителя. Считается, что волокна концентрируются в сплошной каркас или другую трехмерную структуру, которая удерживает расклинивающий наполнитель, ограничивая тем самым его обратное движение. Волокна могут быть из стекла, керамики, углерода, натуральных или
15 синтетических полимеров или из металла. Обычно они имеют длину приблизительно от 2 до 30 мм и диаметр от 10 до 100 мкм. В соответствии с патентом США №5908073 обратное движение предотвращается благодаря использованию связок волокон, содержащих приблизительно от 5 до 200 отдельных волокон, имеющих длины в диапазоне приблизительно от 0.8 до 2.5 мм и диаметр в диапазоне приблизительно от 10 до 1000
20 мкм. Кроме того, из патента США №6059034 известно смешивание материала расклинивающего наполнителя с деформируемым материалом в виде частиц. Деформируемые частицы могут иметь различную форму, например овальную, кубическую, стержнеобразную, цилиндрическую, многогранную, неправильную, коническую – но предпочтительно с максимальным отношением длины к основанию меньшим либо равным
25 5, и в типовом случае представляют собой сферические пластиковые шарики или композитные частицы, содержащих недеформируемое ядро и деформируемое покрытие. В другом варианте осуществления, заявленном в патенте США №6330916, частицы могут включать размолотые или дробленые материалы, например ореховую скорлупу, скорлупу семян, косточки фруктов и обработанную древесину.

30 Следует отметить, что во всех четырех вышеупомянутых патентах США, расклинивающий наполнитель состоит по существу из сферических частиц – по большей части песка, – смешанных с материалом, который может иметь удлиненную форму. Это отражает общее понимание в данной области техники, что угловатые частицы разрушаются при более низких напряжениях закрытия, формируя более мелкие фракции и, таким
35 образом, понижая проводимость трещины. С другой стороны, сферические частицы одинакового размера имеют результатом более высокие нагрузки перед разрушением, поскольку напряжения распределяются более равномерно.

Добавление в данные продукты волокон или волоконно-подобных продуктов может способствовать уменьшению обратного движения расклинивающего наполнителя и,
40 следовательно, лучшей закладке расклинивающего наполнителя в трещину. Кроме того, они способствуют предотвращению перемещения мелких частиц и, следовательно, предотвращают уменьшение проводимости расклинивающего наполнителя; однако все еще имеется потребность в новом типе расклинивающего наполнителя, который будет обеспечивать более высокую проводимость.

45 Техническим результатом настоящего изобретения является создание нового типа расклинивающего наполнителя и улучшенного способа расклинивания трещины или части трещины, например конца трещины вблизи ствола скважины, обеспечивающих увеличение проводимости расклинивающего наполнителя и, тем самым, производительность скважины.

50 Этот технический результат достигается тем, что способ расклинивания трещины в подземном пласте содержит нагнетание в пласт жидкости с расклинивающим наполнителем, содержащим, по существу, материал в виде удлиненных частиц, имеющих форму с отношением длины к ширине, превышающим 5.

Указанный технический результат достигается и тем, что способ расклинивания трещины в подземном пласте с помощью расклинивающего наполнителя, содержит два
 5 одновременных этапа размещения в трещине первого расклинивающего наполнителя, состоящего, по существу, из неметаллического материала, в виде сферических частиц и размещения в трещине второго расклинивающего наполнителя, состоящего, по существу,
 из материала в виде удлиненных частиц, имеющих отношение длины к эквивалентному диаметру, превышающее 5.

Упомянутый технический результат достигается и тем, что способ гидроразрыва в подземном пласте содержит нагнетание жидкости для гидроразрыва в гидравлическую
 10 трещину, созданную в подземном пласте, причем по меньшей мере одна порция жидкости для гидроразрыва содержит расклинивающий наполнитель, содержащий, по существу, материал в виде удлиненных частиц имеющих отношение длины к эквивалентному диаметру, превышающее 5. Порция жидкости для гидроразрыва может являться концевой порцией.

15 Отдельные частицы материала в виде удлиненных частиц могут иметь форму с отношением длины к ширине, превышающем 10.

Отдельные частицы материала в виде удлиненных частиц могут иметь форму сегмента проволоки.

Материал в виде удлиненных частиц может являться, по существу, металлическим.

20 Материал в виде удлиненных частиц может быть выбран из группы, состоящей из железа, феррита, низкоуглеродистой стали, нержавеющей стали и сплавов железа.

Материал в виде удлиненных частиц может состоять из металлических проволок, имеющих твердость от 45 до 55 единиц по Роквеллу.

Отдельные частицы материала в виде удлиненных частиц могут быть покрыты смолой.

25 Отдельные частицы материала в виде удлиненных частиц могут иметь длину от 1 до 25 мм, предпочтительно приблизительно от 2 до 15 мм.

Отдельные частицы материала в виде удлиненных частиц могут иметь диаметр приблизительно от 0,1 до 1 мм, предпочтительно приблизительно от 0,2 мм до 0,5 мм.

Далее изобретение будет более подробно описано со ссылками на прилагаемые
 30 чертежи, на которых изображено следующее:

фиг.1 показывает устройство для проведения испытаний на влажпроводность;

фиг.2 - зависимость влажпроводности трещины от напряжения закрытия трещины при
 использовании расклинивающего наполнителя из 14/20 спеченного боксита, покрытого
 смолой (пунктирная линия), и расклинивающего наполнителя из металлических шариков
 35 (сплошная линия);

на фиг.3 показана зависимость влажпроводности трещины от напряжения закрытия трещины при использовании расклинивающего наполнителя, состоящего из 16/30
 спеченного боксита (штриховая линия), и расклинивающего наполнителя согласно
 настоящему изобретению (сплошная линия);

40 на фиг.4 показана зависимость проницаемости трещины от напряжения закрытия трещины при использовании расклинивающего наполнителя, состоящего из 16/30
 спеченного боксита (штриховая линия), и расклинивающего наполнителя согласно
 настоящему изобретению (сплошная линия).

Во всех вариантах осуществления описываемого изобретения по меньшей мере часть
 45 жидкости для гидроразрыва содержит расклинивающий наполнитель, по существу, состоящий из материала в виде удлиненных частиц, имеющих форму с отношением длины к ширине большим, чем 5. Хотя, как правило, этим материалом чаще всего является отрезок проволоки, другие формы, например лента или волокна, имеющие непостоянный диаметр, также могут быть использованы, при условии, что отношение длины к
 50 эквивалентному диаметру больше, чем 5, предпочтительно больше, чем 8, и наиболее предпочтительно больше, чем 10. Согласно предпочтительному варианту осуществления, отдельные частицы материала имеют длину в пределах приблизительно от 1 мм до 25 мм, более предпочтительно в пределах приблизительно от 2 мм до 15 мм и наиболее

предпочтительно приблизительно от 5 мм до 10 мм. Предпочтительные значения диаметра (или эквивалентного диаметра, если основание не круговое) в типовом случае составляют приблизительно от 0,1 мм до 1 мм и наиболее предпочтительно приблизительно от 0,2 мм до 0,5 мм. Понятно, что в зависимости от способа производства обычно могут ожидатьс

5 небольшие отклонения форм, длин и диаметров.

Согласно наиболее предпочтительному варианту осуществления настоящего изобретения, указанный материал является, в основном, металлическим, но может включать органическую часть, например покрытие из смолы. Предпочтительный металл включает железо, феррит, низкоуглеродистую сталь, нержавеющую сталь и сплавы железа.

10 В зависимости от применения и, в особенности, от напряжения закрытия, которое может иметь место в трещине, могут быть использованы "мягкие" сплавы, хотя обычно предпочтительнее металлическая проволока, имеющая твердость приблизительно от 45 до 55 единиц по Роквеллу.

Проволочный расклинивающий наполнитель, согласно изобретению, может быть

15 использован в течение всей стадии расклинивания или для удержания от смыкания только части трещины. В одном варианте осуществления способ расклинивания трещины в подземном пласте включает два одновременных этапа размещения первого расклинивающего наполнителя в трещине, состоящего по существу из неметаллического материала в виде сферических частиц и размещения второго расклинивающего

20 наполнителя, состоящего по существу из материала в виде удлиненных частиц, имеющего отношение длины к эквивалентному диаметру, превышающее 5. Под неметаллическим материалом из сферических частиц понимается любой обычный расклинивающий наполнитель, хорошо известный специалистам в области гидравлического разрыва пласта и состоящий, например, из песка, кремнезема, синтетических органических частиц,

25 стеклянных микросфер, керамики, содержащей алюмосиликаты, спеченный боксит и их смеси, или деформируемого сыпучего материала, как описано в патенте США №6330916. В другом варианте осуществления проволочный расклинивающий наполнитель только добавляется к порции жидкости для гидроразрыва, предпочтительно концевой порции. В обоих случаях, проволочный расклинивающий наполнитель, согласно изобретению, не

30 смешивается с обычным материалом и материалом расклинивающего наполнителя трещины или, если смешивается, то обычный материал составляет не больше, чем приблизительно 25% по весу от всей смеси расклинивающего наполнителя трещины, предпочтительно не больше, чем 15% по весу.

Как указано выше, согласно предпочтительному варианту осуществления,

35 расклинивающий наполнитель, по существу, состоит из металлических частиц. Это создает уникальную возможность оценивания трещины приборами каротажа сопротивления, электромагнитными устройствами и сверхдлинными решетками электродов, обеспечивает возможность простого определения высоты трещины, вмещающей расклинивающий наполнитель, ширины трещины, а после обработки собранных данных, до некоторой

40 степени, может быть определена длина расклиненной трещины.

Были проведены следующие эксперименты.

Прибор для измерения проводимости трещины состоит из пресса с нагрузкой 125 000 фунтов с автоматическим напорным гидроусилителем и модифицированной ячейки проводимости из хастелоя (сплав на основе никеля с добавлением различных металлов

45 для деталей химического оборудования) Американского нефтяного института с каналом движения жидкости в 12 дюйм² (фиг.1).

Сердечник 1, состоящий из двух полусердечников 1' и 1'', помещен в ячейку 2 проводимости, расположенную в раме 3 пресса, приводимой в действие силовым приводом 4. Между полусердечниками 1' и 1'' в промежуток 5, который моделирует трещину,

50 набивается расклинивающий наполнитель. Температура ячейки 2 проводимости регулируется нагреваемыми плитами 6, контактирующими со сторонами ячейки.

Жидкость для гидроразрыва готовится смешиванием гуаровой смолы из резервуара 7 с гуаровой смолой с соляным раствором из резервуара 8 с соляным раствором в

центробежном насосе 9. Кроме того, устройство включает в себя третий резервуар 10 для хранения, например, кислоты. Смесь проходит далее через нагнетательные насосы 11 и сдвиговую петлю 12. Может быть добавлен формирователь 13 поперечных связей. Процесс смешивания отслеживается в датчике 14 массы перед прохождением через моделирующее устройство 15 коллектора, в котором горячая нефть циркулирует через клапаны 16.

Хроматографические насосы 17 используются для закачивания соляного раствора в ячейку в течение измерений обратного движения и проводимости. Насосы засасывают барботированный азотом соляной раствор 2% KCl из резервуара 18 обратного движения емкостью 100 галлонов. Соляной раствор барботируется азотом для предотвращения введения металлических окислов в закладку расклинивающего наполнителя. Прежде чем ввести соляной раствор в ячейку 2 проводимости, его пропускают через устройство 15, имитирующее коллектор, и систему 18 насыщения кремнеземом.

Датчики давления Rosemount (не показаны) используются для измерения давления системы и падения давления вдоль длины трещины. Устройство позволяет получить максимальное напряжение закрытия, равное 10000 фунт/дюйм², и максимальную температуру, равную 350°F. Преобразователи установлены по вертикали с линиями 1/8 дюйм (т.е. линиями с диаметром 0,125 дюйма или 3,175 мм) и проверены манометрами на точность для одного дюйма воды. Цифровой каверномер (не показан) используется для измерения ширины раскрытия трещины. Прибор может определять как проводимость расклинивающего наполнителя, так и кислотную проводимость.

Это устройство описано в работе Navarrete, R.C., Holms, B.A., McConnell, S.B., Linton, D.E.: "Emulsified Acid Enhances Well Production in High-Temperature Carbonate Formations", SPE 50612, 1998 SPE European Petroleum Conference, The Hague, The Netherlands, October 20-22, которая включена в настоящее описание посредством ссылки.

Основная проницаемость закладки чистого расклинивающего наполнителя измерялась в горизонтальной трещине с тремя значениями напряжения закрытия, равными 3000, 6000, 9000 фунт/дюйм². Процедуры осуществлялись следующим образом.

а) Сердечники герметизировались в высокотемпературном силиконовом каучуке на основе клеей-герметика, вулканизирующегося при комнатной температуре, для обеспечения изоляционного слоя между сердечниками и стенками ячейки проводимости.

б) Сердечники вакуумировались пропитыванием 2% KCl, и нижний сердечник был загружен в ячейку проводимости.

в) Расклинивающий наполнитель был вручную засыпан в ячейку при давлении закрытия, равном 2,0 фунт/дюйм² и выровнен ножевым устройством для обеспечения равномерного покрытия.

г) Верхний сердечник загружался в ячейку, и к закладке расклинивающего наполнителя прикладывалось давление закрытия, равное 1000 фунт/дюйм². Системное обратное давление было установлено в размере 100 фунт/дюйм², и закладка расклинивающего наполнителя пропитывалась 2% (водным) раствором KCl, вводимым со скоростью 1 мл/мин.

д) После пропитывания результирующее давление закрытия повышалось до 3000 фунт/дюйм² со скоростью, равной 300 фунт/дюйм² в минуту, а температура испытания повышалась до 300°F в течение двух часов.

е) Соляной раствор протекал через закладку в течение 4 часов со скоростью 4 мл/мин при результирующем давлении закрытия, равном 3000 фунт/дюйм², и температуре, равной 100°F.

ж) Спустя 4 часа преобразователи обнулялись, измерялась ширина раскрытия трещины и определялась проводимость при введении 2% водного раствора KCl со скоростью, равной 6, 8 и 10 мл/мин.

з) Напряжение закрытия повышалось до следующего уровня со скоростью 300 фунт/дюйм² в минуту и этапы е) и ж) повторялись.

Пример 1.

Поскольку большинство общеизвестных расклинивающих наполнителей изготовлены из песка или керамики, то первое испытание проведено для сравнения расклинивающего наполнителя, изготовленного из металлических шариков, выполненных из нержавеющей стали SS 302, имеющих средний диаметр приблизительно 1,6 мм, с проволочным расклинивающим наполнителем, изготовленным нарезанием железной без покрытия проволоки из нержавеющей стали SS 302 на отрезки с длиной приблизительно 8 мм. Проволока имела диаметр приблизительно 1,6 мм.

Расклинивающий наполнитель закладывался между двумя породными плитами песчаника из Огайо в устройстве для измерения проводимости трещины и подвергался стандартному испытанию на проводимость закладки расклинивающего наполнителя, как описано выше. Эксперименты осуществлялись при температуре, равной 100°F, засыпке расклинивающего наполнителя при давлении закрытия, равном 2 фунт/дюйм² и трех напряжениях закрытия: 3000, 6000 и 9000 фунт/дюйм² (приблизительно 20,6, 41,4 и 62 МПа, соответственно). Результаты проницаемости, ширины раскрытия трещины и проводимости стальных шариков и проволоки, представлены в таблице 1.

Напряжение закрытия (фунт/дюйм ²)	Проницаемость (дарси)		Раскрытие трещины (дюйм)		Проводимость (мдарси-фут)	
	шарик	проволока	шарик	проволока	шарик	проволока
3000	3,703	10,335	0,085	0,119	26,232	102,398
6000	1,077	4,126	0,061	0,095	5,472	33,090
9000	705	1,304	0,064	0,076	3,174	8,249

Проводимость является произведением проницаемости (в миллидарси) и раскрытия трещины (в футах). Очевидно, что использование проволочного расклинивающего наполнителя лучше, чем металлического сферического расклинивающего наполнителя.

Пример 2.

Во втором испытании металлические шарики из примера 1 сравнивались со спеченным бокситом 14/20, содержащим, по меньшей мере, 90% частиц с размером от 850 до 1400 микрон, при этом 14 меш означает 1400 микрон, 20 меш – 850 микрон. Фиг.2 является графиком зависимости проводимости от напряжения закрытия, где данные для металлических шариков представлены сплошной линией, а сравнительные данные с бокситным расклинивающим наполнителем представлены пунктирной линией.

При низком напряжении закрытия (меньше, чем 3000 фунт/дюйм²) проводимость сходная, однако проводимость стальных шариков значительно понижается с увеличением напряжения закрытия. Предполагается, что низкая проводимость вызвана двумя причинами. Во-первых, в результате высокой плотности материала ширина закладки расклинивающего наполнителя является очень маленькой, которая является причиной понижения проводимости. Во-вторых, в результате твердости материала стальные шарики глубоко внедряются и создают существенное количество мелких фракций. Закладка расклинивающего наполнителя нарушается мелкими фракциями, а вкрапления сокращают ширину закладки. Твердость расклинивающего наполнителя является благоприятной для проводимости закладки, поскольку крепкий расклинивающий наполнитель способен выдерживать высокие напряжения закрытия. Однако если твердость расклинивающего наполнителя значительно превышает твердость пласта, то расклинивающий наполнитель может вызвать серьезное повреждение поверхности пласта, проникая в пласт, и появление мелких фракций в результате дробления пласта и уменьшение проницаемости закладки. Вкрапления являются более ощутимыми при высоких напряжениях закрытия, что и объясняет, почему проводимость значительно понижалась с увеличением напряжения закрытия.

Кроме того, влияние на вкрапления оказывает диаметр сферических частиц расклинивающего наполнителя. Расклинивающий наполнитель с частицами большого диаметра имеет относительно мало точек контакта с пластом. Поэтому, имеется очень высокая сосредоточенная нагрузка на пласт. Когда прикладывается напряжение, высокая

сосредоточенная нагрузка вызывает разрушение пласта. Поверхность сердечника, подвергавшаяся воздействию расклинивающего наполнителя из стальных шариков, была сильно повреждена после эксперимента, и наблюдалось большое количество мелких фракций.

5 Пример 3.

Расклинивающий наполнитель был изготовлен резанием железной без покрытия проволоки на отрезки длиной приблизительно 0,375". Проволока имела диаметр 0,02". Эта проволока была помещена между двумя породными плитами песчаника из Огайо в устройстве для измерения проводимости трещины и подвержена стандартному испытанию на проводимость закладки расклинивающего наполнителя, как описано выше. Расчетная проводимость спеченного боксита 16/30 содержащего, по меньшей мере, 90% частиц с размером от 600 до 1180 микрон, при этом 16 меш соответствует 1180 микрон, 30 меш – 600 микрон, сравнивалась с проводимостью проволоочного расклинивающего наполнителя. Он был выбран потому, что он является расклинивающим наполнителем с наилучшей проводимостью, регулярно используемым в промышленности.

Результаты экспериментов на проводимость с засыпкой при давлении закрытия, равном 2,0 фунт/дюйм², внесены в таблицу 2.

Фиг.3 является графиком результатов и иллюстрирует сравнение проводимости между спеченным бокситом 16/30 (пунктирная линия) и проволоочным расклинивающим наполнителем (сплошная линия). Кроме того, по прогнозу, на фиг.4 был построен график базового значения проницаемости закладки расклинивающего наполнителя из спеченного боксита 16/30, где пунктирная линия показывает стандартный спеченный боксит, согласно уровню техники, а сплошная линия – проволоочный расклинивающий наполнитель, согласно изобретению. Расчеты проницаемости и проводимости спеченного боксита были сделаны с использованием программы PredictK (название PredictK дано Stim-Lab), которая рассчитывает проницаемость и проводимость закладки расклинивающего материала, как функцию от типа расклинивающего наполнителя, размера, гранулометрического состава, концентрации, напряжения закрытия, температуры и механических свойств горной породы. Расчеты базируются на сотнях экспериментов по проводимости, выполненных лабораториями фирм, обслуживающих скважины, и различными нефтяными и специализированными обслуживающими компаниями. Очевидно, что проволоочный расклинивающий наполнитель превосходит спеченный боксит 16/30 с существенным запасом при 3000 фунт/дюйм². При высоком напряжении закрытия проницаемость проволоки сравнительно более высокая, чем у боксита только потому, что ширина закладки проволоочного расклинивающего наполнителя много меньше; проводимость закладки проволоочного расклинивающего наполнителя меньше, чем боксита. Этот мягкий железный материал проявляет преимущество несферического расклинивающего наполнителя при низком напряжении раскрытия, но также иллюстрирует, что важны и другие свойства, а не только форма. Для высокой проницаемости при высоком напряжении закрытия твердый материал является предпочтительным.

		Таблица 2		
	Напряжение закрытия (фунт/дюйм ²)	3000	6000	9000
Спеченный боксит 16/30	Проницаемость (дарси)	768	678	551
	Раскрытие трещины (дюйм)	0,1874	0,1789	0,1663
	Проводимость (мдарси-фут)	11992	9995	7634
Проволока длина 0,375" диаметр 0,02"	Проницаемость (дарси)	2936	1452	458
	Раскрытие трещины (дюйм)	0,089	0,071	0,060
	Проводимость (мдарси-фут)	21773	8589	2288

Было установлено, что проволоочный расклинивающий наполнитель имеет большую площадь поверхности в контакте с наружной поверхностью трещины, чем расклинивающий наполнитель в виде сферических частиц. Таким образом, проволоочный расклинивающий наполнитель может препятствовать глубокому вкраплению в наружную поверхность трещины, так как приложенная сила распределяется по большой площади поверхности.

Кроме того, было установлено, что, по-видимому, будет иметь место высокая пористость закладки, что свидетельствовало большими площадями вдоль внешней поверхности трещины, где абсолютно не имело места никакого вкрапления расклинивающего наполнителя. Это наблюдение показывает, что закладка расклинивающего наполнителя
 5 содержит многочисленные пустоты, которые отсутствуют в закладке расклинивающего наполнителя в виде сферических частиц. Эти многочисленные пустоты будут способствовать высоким значениям проницаемости. Кроме того, проволоочный расклинивающий наполнитель, вероятно, должен иметь очень хорошую стабильность закладки расклинивающих наполнителей и может не испытывать проблем, связанных с
 10 обратным движением расклинивающего наполнителя, что имеет место, например, в случае расклинивающих наполнителей в виде сферических частиц.

После того как это первое убедительное испытание показало, что металлическая проволока может быть использована для замены стандартного расклинивающего наполнителя, были проведены новые испытания для исследования влияния различных
 15 параметров, таких как номер проволоки, твердость, покрытие, длина и длительность воздействия напряжения. Все эксперименты были проведены при 100°F, засыпке расклинивающего наполнителя 2 фунт/дюйм². Кроме того, эти результаты сравнивались с традиционным высокопрочным расклинивающим наполнителем Carbo HSP (спеченный боксит 16/30).

20 Пример 4. Калибр проволоки

Эксперименты были проделаны с проволокой 302 SS длиной 0.25", калибра 26 (0.016") и калибра 31 (0.009"). Результаты испытаний представлены ниже в таблице 3.

25

Таблица 3						
Напряжение закрытия (фунт/дюйм ²)	Проницаемость (дарси)		Проводимость (мдарси-фут)		Ширина трещины (дюйм)	
	Калибр 31 (0,009")	Калибр 26 (0,016")	Калибр 31 (0,009")	Калибр 26 (0,016")	Калибр 31 (0,009")	Калибр 26 (0,016")
3000	1501	2058	15513	15524	0,112	0,090
6000	1087	1765	8471	11691	0,093	0,079
9000	868	1493	5969	8644	0,082	0,069

30 Относительно влияния калибра проволоки на проницаемость и проводимость могут быть сделаны следующие выводы.

Проницаемость закладки для проволоки 302 SS уменьшается с диаметром проволоки. Ширина трещины для проволоки с меньшим диаметром больше. Разность ширины
 35 больше при низких напряжениях закрытия.

При низком напряжении (3000 фунт/дюйм²) закладки из проволоки малого диаметра и большого диаметра имеют сходную проводимость. При среднем (6000 фунт/дюйм²) и высоком (9000 фунт/дюйм²) напряжениях раскрытия проволока с большим диаметром обеспечивает более высокую проводимость.

40 В сравнении с расклинивающим наполнителем 20/40 Carbo HSP, содержащем, по меньшей мере, 90% частиц с размером от 425 микрон до 850 микрон, при этом 20 меш соответствует 850 микронам, 40 меш – 425 микронам, как показано ниже в таблице 4, проницаемость и проводимость проволоки более высокие. Однако ширина трещины с
 45 проволоочным расклинивающим наполнителем меньше при равноценной засыпке 2 фунт/дюйм².

50

Таблица 4 Расклинивающий наполнитель 20/40 Carbo HSP			
Напряжение раскрытия (фунт/дюйм ²)	Проницаемость (дарси)	Проводимость (мдарси-фут)	Ширина трещины (дюйм)
3000	479	7168	0,18
6000	435	8163	0,17
9000	353	4730	0,161

Пример 5. Твердость проволоки

Были проведены эксперименты с проволокой из двух материалов: 302 SS (твердая) и

низкоуглеродистая сталь (мягкая) при засыпке расклинивающего материала 2 фунт/дюйм². Результаты испытаний приведены ниже в таблице 5.

Таблица 5						
Напряжение закрытия (фунт/ дюйм ²)	Проницаемость (дарси)		Проводимость (мдарси-фут)		Ширина трещины (дюйм)	
	Калибр 22 низкоуглеродистая. Сталь	Калибр 26 SS302	Калибр 22 низкоуглеродистая. сталь	Калибр 26 SS302	Калибр 22 низкоуглеродистая. Сталь	Калибр 26 SS302
3000	2936	2058	21773	15524	0,089	0,090
6000	1466	1765	8676	11891	0,071	0,079
9000	433	1493	2256	8644	0,063	0,069

Были сделаны следующие выводы

Мягкая проволока имеет более высокую проницаемость и проводимость при низком напряжении закрытия (вероятнее всего потому, что это была проволока меньшего калибра, то есть с большим диаметром).

Проницаемость и проводимость мягкой проволоки значительно понижалась с увеличением напряжения закрытия. Твердая проволока сохраняла свою проницаемость и проводимость на существенно более высоком уровне, чем мягкая проволока.

В сравнении с 20/40 Carbo HSP (см. таблицу 4), закладка расклинивающего наполнителя из мягкой проволоки имеет намного более высокую проницаемость и проводимость при низком напряжении закрытия. Твердая проволока поддерживала более высокую проницаемость и проводимость, чем 20/40 Carbo HSP при всех напряжениях закрытия.

Пример 6. Покрытие проволоки

Эксперименты проводились с мягкой стальной проволокой калибра 22, с покрытием и без него при засыпке расклинивающего наполнителя 2 фунт/дюйм². Результаты испытаний приведены ниже в таблице 6.

Таблица 6						
Напряжение закрытия (фунт/ дюйм ²)	Проницаемость (дарси)		Проводимость (мдарси-фут)		Ширина трещины (дюйм)	
	Без покрытия	С покрытием	Без покрытия	С покрытием	Без покрытия	С покрытием
3000	2936	672	21773	4841	0,089	0,067
6000	1466	431	8676	2894	0,071	0,080
9000	433	227	2256	1334	0,063	0,070

Были сделаны следующие выводы.

Проволока с покрытием обеспечивала значительно меньшую проницаемость и проводимость.

Проволока с покрытием имела более высокую ширину трещины.

Полости пор закладки расклинивающего наполнителя разрушались материалом покрытия.

Пример 7. Длина проволоки

Мягкая стальная проволока с покрытием была испытана с двумя различными длинами 0,5" и 0,2" при засыпке расклинивающего наполнителя 2 фунт/дюйм². Результаты испытаний приведены ниже в таблице 7.

Таблица 7						
Напряжение закрытия (фунт/дюйм ²)	Проницаемость (дарси)		Проводимость (мдарси-фут)		Ширина трещины (дюйм)	
	0,5"	0,2"	0,5"	0,2"	0,5"	0,2"
3000	278	206	3471	1696	0,150	0,099
6000	268	125	2930	854	0,131	0,082
9000	264	399	2445	2400	0,111	0,072

Были сделаны следующие выводы.

Мягкая стальная проволока с покрытием была испытана с двумя различными длинами 0,5" и 0,2".

Проволока 0,5" имела большую ширину трещины.

Значения проницаемости и проводимости для длинной и короткой проволоки сходны.

Пример 8. Длительность воздействия напряжения

Было проведено одно длительное испытание на проводимость с проволокой калибра 26 с покрытием, при засыпке расклинивающего наполнителя 2 фунт/дюйм² и напряжением закрытия 9000 psi. Дебит был равен 4 мл/мин. Проводимость была измерена после 4, 24, 48 и 72 часов. Результаты испытаний приведены ниже в таблице 8.

Таблица 8			
	Проницаемость (дарси)	Проводимость (мдарси-фут)	Ширина трещины (дюйм)
4 часа	217	1404	0,077
24 часа	259	1578	0,073
48 часов	331	2012	0,073
72 часов	329	2000	0,073

Были сделаны следующие выводы.

Для первых 24 часов проницаемость и проводимость закладки расклинивающего наполнителя значительно не изменялись.

Проводимость значительно возрастала после 24 часов, но причины этого в настоящее время не известны. Проницаемость стабилизировалась после 48 часов.

Длительность воздействия напряжения не оказывает влияния на ширину трещины.

Формула изобретения

1. Способ расклинивания трещины в подземном пласте с содержащей нагнетание в пласт жидкости с расклинивающим наполнителем, содержащим, по существу, материал в виде удлинённых частиц, имеющих форму с отношением длины к ширине, превышающим 5.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлинённых частиц имеют форму с отношением длины к ширине, превышающим 10.

3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлинённых частиц имеют форму сегмента проволоки.

4. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что материал в виде удлинённых частиц является, по существу, металлическим.

5. Способ по п.4, отличающийся тем, что материал в виде удлинённых частиц выбран из группы, состоящей из железа, феррита, низкоуглеродистой стали, нержавеющей стали и сплавов железа.

6. Способ по п.4, отличающийся тем, что материал в виде удлинённых частиц состоит из металлических проволок, имеющих твердость 45-55 единиц по Роквеллу.

7. Способ по любому из предшествующих пп.1-6, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлинённых частиц покрыты смолой.

8. Способ по любому из пп.1-7, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлинённых частиц имеют длину 1-25 мм, предпочтительно приблизительно 2-15 мм.

9. Способ по любому из пп.1-8, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлинённых частиц имеют диаметр приблизительно 0,1-1 мм, предпочтительно приблизительно 0,2-0,5 мм.

10. Способ расклинивания трещины в подземном пласте с помощью расклинивающего наполнителя, содержащий два одновременных этапа размещения в трещине первого расклинивающего наполнителя, состоящего, по существу, из неметаллического материала в виде сферических частиц, и размещения в трещине второго расклинивающего наполнителя, состоящего, по существу, из материала в виде удлинённых частиц, имеющих отношение длины к эквивалентному диаметру, превышающее 5.

11. Способ по п.10, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлинённых частиц имеют форму с отношением длины к ширине, превышающим 10.

12. Способ по п.10 или 11, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлинённых частиц имеют форму сегмента проволоки.

13. Способ по любому из пп.10-12, отличающийся тем, что материал в виде удлиненных частиц является, по существу, металлическим.

14. Способ по п.13, отличающийся тем, что материал в виде удлиненных частиц выбран из группы, состоящей из железа, феррита, низкоуглеродистой стали, нержавеющей стали и сплавов железа.

15. Способ по п.13, отличающийся тем, что материал в виде удлиненных частиц состоит из металлических проволок, имеющих твердость 45-55 единиц по Роквеллу.

16. Способ по любому из пп.10-15, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлиненных частиц покрыты смолой.

17. Способ по любому из пп.10-16, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлиненных частиц имеют длину 1-25 мм, предпочтительно приблизительно 2-15 мм.

18. Способ по любому из пп.10-17, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлиненных частиц имеют диаметр приблизительно 0,1-1 мм, предпочтительно приблизительно 0,2-0,5 мм.

19. Способ гидроразрыва в подземном пласте, содержащий нагнетание жидкости для гидроразрыва в гидравлическую трещину, созданную в подземном пласте, причем по меньшей мере одна порция жидкости для гидроразрыва содержит расклинивающий наполнитель, содержащий, по существу, материал в виде удлиненных частиц, имеющих отношение длины к эквивалентному диаметру, превышающее 5.

20. Способ по п.19, отличающийся тем, что порция жидкости для гидроразрыва является концевой порцией.

21. Способ по п.19 или 20, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлиненных частиц имеют форму с отношением длины к ширине, превышающим 10.

22. Способ по любому из пп.19-21, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлиненных частиц имеют форму сегмента проволоки.

23. Способ по любому из пп.19-22, отличающийся тем, что материал в виде удлиненных частиц является, по существу, металлическим.

24. Способ по п.23, отличающийся тем, что материал в виде удлиненных частиц выбран из группы, состоящей из железа, феррита, низкоуглеродистой стали, нержавеющей стали и сплавов железа.

25. Способ по п.23, отличающийся тем, что материал в виде удлиненных частиц состоит из металлических проволок, имеющих твердость 45-55 единиц по Роквеллу.

26. Способ по любому из пп.19-25, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлиненных частиц покрыты смолой.

27. Способ по любому из пп.19-26, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлиненных частиц имеют длину 1-25 мм, предпочтительно приблизительно 2-15 мм.

28. Способ по любому из пп.19-27, отличающийся тем, что отдельные частицы материала в виде удлиненных частиц имеют диаметр приблизительно 0,1-1 мм, предпочтительно приблизительно 0,2-0,5 мм.

